以逆滲透方法濃縮番茄汁之研究

左瀅妮[1] 許明仁[1] 吳瑞碧[2]

[1] 國立臺灣大學園藝學研究所

[2] 國立臺灣大學食品科技研究所

摘要：天然番茄汁與果膠酵素處理過之天然番茄汁(5.0°Brix)以HR-95逆滲透薄膜在50℃、40bar直接濃縮雖可分別濃縮至13.0°Brix與15.5°Brix，但是會造成嚴重的薄膜阻塞(fouling)現象，因而縮短薄膜的使用壽命。若將天然番茄汁先以13200xg離心處理，再將離心所得之果清以HR-95或HR-98薄膜，25℃或50℃，40bar或50bar進行逆滲透濃縮，果清可濃縮至18.8°Brix，水溶性固形物回收率達到98.5%以上。將離心果肉回添至濃縮果清後所得之濃縮番茄汁之濃度為14.8°Brix。此法可大幅度降低薄膜阻塞的現象，透流速率亦相對提高，此外，操作後薄膜清洗效率較高，薄膜的使用壽命亦較長。

就操作效率與可溶性固形物之回收率比較，HR-95與HR-98之薄膜表現差異不大。濃縮操作溫度愈高，透流速率愈大，溶質較易透過薄膜而流失。40bar與50bar的操作壓力對透流率影響差別不大。逆滲透濃縮番茄汁經還原成天然番茄汁後，黏稠度均會下降，其中以離心果清濃縮法之濃縮番茄汁所還原之果汁黏稠度下降幅度最小，果汁所測之色澤，a值與a/b值，及番茄紅素(lycopene)均較其他樣品高，且相當接近天然番茄汁的色澤。

關鍵字：番茄汁、逆滲透濃縮、濃縮果汁加工

前　言

本省生產之番茄加工產品過去一直是我國外銷主要農產品之一，這其中又以番茄糊(Tomato paste)為最大宗。近幾年來，由於生產成本日益昇高，再加上新台幣大幅升值，外銷市場逐漸萎縮，產值大幅滑落。番茄加工業者乃積極開拓國內市場，除提供健康營養之天然果汁外，亦藉此保障農民之收益。本省加工用番茄原料之產期主要在十一月至次年二月間。番茄汁之生產均在盛產期中加工。廠商將一年預估之需求量一次生產足夠供全年所需。然而，近年來，本省各地，尤其是中南部地區，盛行以番茄汁添加於啤酒作為飲料，一時間番茄汁消費量驟升，產量供不應求，每到夏末秋初即出現番茄汁斷貨之現象。番茄汁加工業者除努力調節供需外，另一方面也積極尋求以濃縮番茄糊稀釋還原成天然番茄汁之方法，以應市場之需。

番茄糊的製造過程是以番茄原汁經蒸發濃縮至26-28%天然番茄水溶性固形物(natural tomato soluble solids, NTSS)而得。番茄糊在製造過程因蒸發濃縮之故，香氣成分散失貽盡，而且色素亦受熱破壞，因此，以番茄糊直接還原之100%番茄汁無論香氣或色澤均與鮮果榨得番茄汁之品質無法相比擬，消費者接受性低。這兩年，國內有業者自國外進口逆滲透濃縮之番茄汁，以一定比例混合番茄糊後，稀釋還原成100%番茄汁上市以應急需。這類產品在市場反應大致良好，消費者可以接受，但是進口之逆滲透濃縮番茄汁成本過高，所以發展番茄汁逆滲透濃縮加工之技術為目前產業界所急切需要解決之問題。

逆滲透濃縮屬薄膜濃縮的一種，其效率常受薄膜材質及操作條件，如溫度、壓力等所影響。聚醯氨(polyamide)薄膜具有良好的抗固結能力、透流率、溶質排斥力及溫度、化學安定性，近年來已逐漸取代傳統的醋酸纖維(cellulose acetate)膜廣為食品加工應用上所採用。Sheu與Wiley[8,9]以商業用聚醯

氨薄膜濃縮澄清蘋果汁結果獲致良好的預濃縮效果，12°Brix的蘋果汁濃縮至24°Brix，水溶性固形物的回收率達97%以上，揮發性香氣成分回收率高達87%。Merlo等人[6,7]曾嘗試以聚醯氨薄膜濃縮番茄汁，但因試驗條件控制不佳，導致濃縮效果未如預期理想。Gherardi等人[2]以相同之薄膜在60-70℃、35-45bar的條件下操作可將番茄原汁(4-5°Brix)濃縮至8.0-8.5°Brix，直接濃縮的效果未見理想。本研究之目的在探討以逆滲透方法濃縮省產番茄汁至3-4倍濃度的可行性，並釐定其加工條件，同時也評估逆滲透濃縮之番茄汁及其還原後之番茄汁的品質。

材料與方法

一、材料：

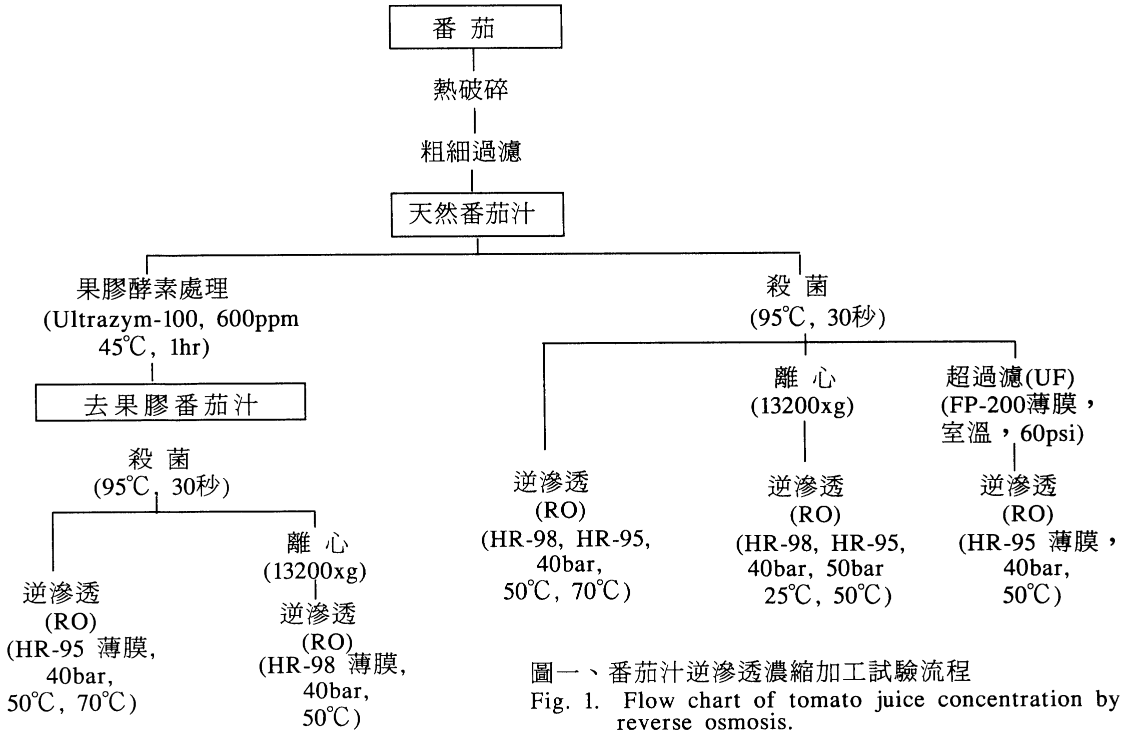
本研究所使用之番茄原料係由可果美食品工業股份有限公司所提供之可果美402號番茄。番茄經洗清及選別後，以80-85℃熱破碎以抑制果實之酵素活性，然後再以0.4mm網目之粗細過濾機(pulper-finisher)榨汁。所榨得之天然番茄汁(T)以95℃殺菌30秒後，凍藏於-20℃冷凍庫中備用。部分天然番茄汁以二重鍋加熱至45℃後，添加600ppm之果膠分解酵素(Ultrazym-100G，瑞士Novo公司)處理1小時，然後將果汁在95℃加熱30秒，此類已分解果膠之番茄汁稱之為"去果膠番茄汁(E)"。

二、實驗方法：

本研究之試驗流程如圖一所示。各重要階段之試驗茲分述如下：

(一)以超過濾薄膜分離番茄果汁中之果清及不溶性固形物之試驗

天然番茄汁以裝置200,000分子量劃分極限(molecular weight cut-off, MWCO)(FP 200型，英國PCI公司)薄膜之超過率薄膜裝置在室溫及60psi壓力下分離番茄汁中之果清及不溶性固形物。果汁進料桶的體積為40L，每分離出2L之透流液後立即補充至40L。收集透流液(permeate)，並計算透流液與滯留液(retentate)的比例。



圖一、番茄汁逆滲透濃縮加工試驗流程

Fig. 1. Flow chart of tomato juice concentration by reverse osmosis.

㈡以離心方法分離番茄果汁中之果清及不溶性固形物之試驗

番茄果汁以sharples type centrifugal separator(台灣製三富牌)在13,200xg之離心力下連續離心，可將大部份果肉(pulp)與果清分離。所得到黏度較低的番茄果清留待後續之逆滲透濃縮試驗。果肉部分則加以回收後凍藏於-18℃，待果汁還原時使用。

㈢以逆滲透濃縮方法濃縮番茄汁及番茄果清之試驗

番茄汁樣品以裝有HR-95或HR-98薄膜之板框式逆滲透裝置(丹麥De Dansk Sukkerfabrikker, DDS，公司製)在25℃或50℃、40bar或50bar下進行濃縮試驗。果汁進料流速固定爲8 L/min。每收集2L的透流液取樣一次，記錄收集時間，再以$L/m^2/hr$爲單位計算出透流速率。

㈣品質分析

本研究中所取得之番茄汁樣品均分析下列物性與化性品質，以瞭解各加工條件對終產品品質之影響：(1)可溶性固形物、(2)酸鹼值、(3)色澤、(4)黏稠度、(5)可滴定酸度、(6)Lycopene、(7)總果膠含量、(8)總固形物含量、(9)甲醛態氮、(10)有機酸分析、(11)糖類分析。

結果與討論

一、以逆滲透方法直接濃縮番茄汁之研究

番茄汁爲果肉系果汁，含大量不溶性固形物。以裝置HR-95薄膜之板框式逆滲透濃縮裝置直接濃縮天然番茄汁或去果膠番茄汁時，會造成嚴重的膜堵塞(fouling)現象，導致透流速率嚴重下降。圖二及圖三爲天然番茄汁及去果膠番茄汁以HR-95薄膜分別在50℃及70℃、40bar下直接濃縮之透流速率與濃縮程度的關係。因爲薄膜在操作過程中有fouling的現象，因此溫度對透流速率的影響不易判別，但仍可看出去果膠番茄汁比番茄原汁有較高的透流速率。去果膠番茄汁且能濃縮至15.5^{o} Brix，較天然番茄汁之13.0^{o} Brix爲高。

二、以超過濾結合逆滲透濃縮番茄汁之研究

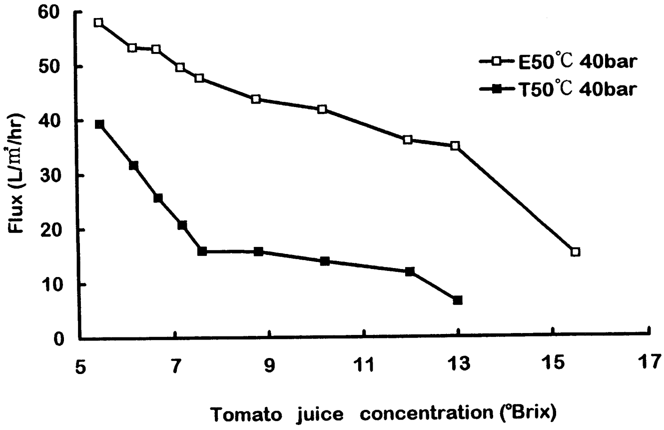
由於以逆滲透方法直接濃縮番茄汁有嚴重的fouling現象而導致濃縮效率不彰，因此本試驗再探討以超過濾方法將果肉先行分離，再將所濾得之果清以逆滲透濃縮後，回添果肉，製成濃縮番茄汁的可能性。

番茄汁含有大量的果肉纖維且黏度高，在超過濾操作時，160L的番茄汁僅能過濾出95L 的番茄果清，膜管隨即淤塞，無法繼續操作。果清中的可溶性固形物爲4.8^{o} Brix，滯留液中可溶性固形物爲5.6^{o} Brix。

圖四爲番茄果清經逆滲透濃縮時其透流速率變化情形，果清因不含果肉，黏度低，所以透流速率較高，濃縮速率也較快。果清經逆滲透濃縮後，可溶性固形物可由4.8^{o} Brix濃縮至22.0^{o} Brix。然而將果肉依一定比例回添至濃縮果清後所或得之濃縮番茄汁僅爲9.2^{o} Brix，仍然與本研究的目標濃縮倍數相去甚遠，因此此法仍不可行。

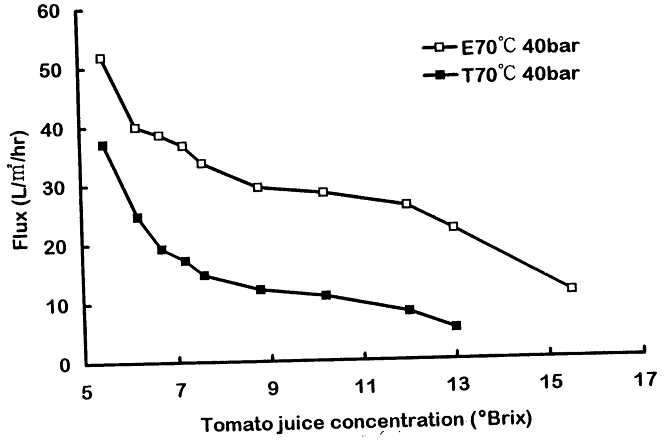
三、以離心法結合逆滲透濃縮番茄汁之研究

將天然番茄汁與去果膠番茄汁分別以13,200xg離心後，將果肉另行收集，離心後所得之番茄果清以HR-98薄膜濃縮，其結果如圖五所示。酵素處理過之去果膠番茄汁經離心處理後的果清以逆滲透濃縮時，其透流速率與對照組，天然番茄汁，濃縮時之透流速率極爲相近。兩者之透流速率亦較前述番茄汁直接以薄膜濃縮爲高，且薄膜經清洗後均可回復至操作前之透流速率。本試驗之結果顯示，天然番茄汁離心後，果汁中之不溶性固形物含量降低，有利於逆滲透薄膜操作。以酵素處理預先去除番茄汁中之果膠在本方法中似無必要。



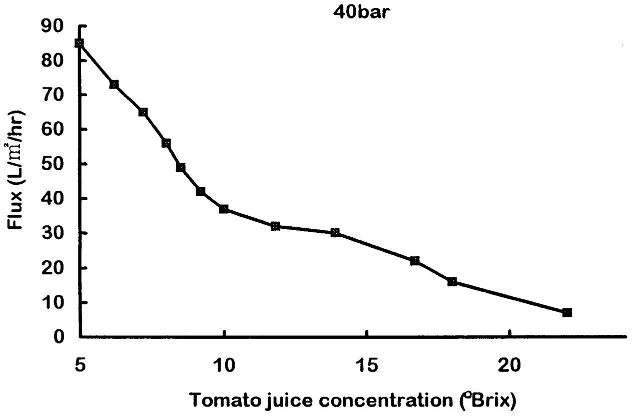
圖二、以HR-95薄膜50℃濃縮原汁及酵素處理汁其透流率與濃縮程度之關係

Fig. 2. Effect of different juice on permeate flux using HR-95 membrane and operated at 50℃ 40 bar.
E：Depectinized tomato juice T：Tomato juice



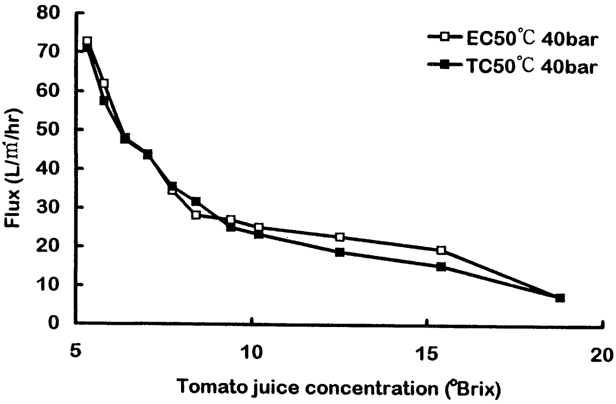
圖三、以HR-95薄膜70℃濃縮原汁及酵素處理汁其透流率與濃縮程度之關係

Fig. 3. Effect of different juice on permeate flux using HR-95 membrane and operated at 70℃ 40 bar.
E：Depectinized tomato juice T：Tomato juice



圖四、以HR-95薄膜濃縮超過濾之果清其透流率與濃縮程度之關係

Fig. 4. Effect of Ultrafiltrated serum on permeate flux using HR-95 membrane.

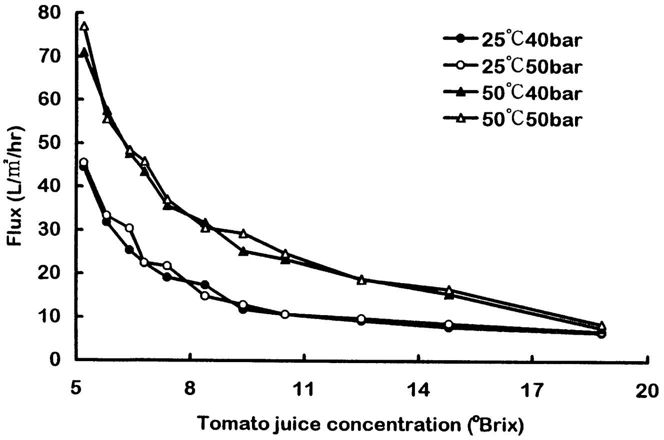


圖五、以HR-95薄膜濃縮酵素離心處理及離心處理果清對透流率之影響
Fig. 5. Effect of different tomato serum on permeate flux using HR-95 membranes and operated at 50℃ 40bar.
EC：Depectinized and centrifuged tomato juice TC：Centrifuged tomato juice

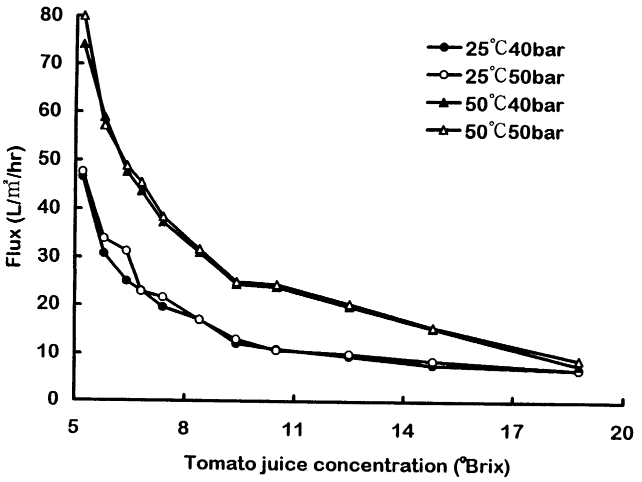
四、薄膜、操作溫度與操作壓力對逆滲透濃縮番茄果清時之透流速率的影響

HR-95與HR-98兩種薄膜之材質均爲1,3,5-benzene-tricarbonyl chloridem 聚合1,3-benzenediamine作爲與食品接觸之表面[1]。圖六與圖七顯示番茄果清在相同的操作條件下分別以HR-98與HR-95之薄膜進行逆滲透濃縮，二者之透流速率差別不大。5.2°Brix之番茄果清在50℃、50bar的操作條件下，以HR-95濃縮的透流速率爲80L/m^2/hr，而以HR-98濃縮的透流速率爲76.92L/m^2/hr。當果清濃縮至10.5°Brix時，HR-95操作之透流速率爲24.69L/m^2/hr，HR-98則爲24.39L/m^2/hr。果清濃縮至最後終點 18.8°Brix時，HR-98爲8.81L/m^2/hr，HR-95 則爲8.51L/m^2/hr。

圖六與圖七亦分別顯示番茄果清分別在不同溫度(25℃與50℃)及壓力(40bar與50bar)下進行逆滲透濃縮之透流速率變化。以HR-98、40bar的操作條件下，50℃濃縮時透流速率最初爲70.92L/m^2/hr，當濃縮完成時，透流速率降到7.58L/m^2/hr ，而25℃最初爲44.44L/m^2/hr ，最終爲6.56L/m^2/hr。溫度對透流率的影響相當大(圖六)。HR-95也有相同情形(圖七)。Sheu and Wiley[8]曾指出，當溫度每升高1



圖六、以HR-98 薄膜濃縮離心番茄果清操作壓力與溫度對透流率之影響
Fig. 6. Effect of different operated temperature and pressure on permeate flux using HR-98 membrane.



圖七、以HR-95薄膜濃縮離心番茄果清操作壓力與溫度對透流率之影響
Fig. 7. Effect of different operated temperature and pressure on permeate flux using HR-95 membrane.

℃時，平均透流速率提高約3-4%。透流速率隨著濃縮濃度增加而降低，是因爲操作壓力與果汁的滲透壓差逐漸縮小的緣故[5]。在本實驗中，不同操作壓力(40bar與50bar)對透流速率的影響不大。

五、不同逆滲透濃縮條件對薄膜滯留率的影響

不同逆滲透濃縮條件對離心番茄果清水溶性固形物回收率之影響可由表一得知。番茄果清由5.0 °Brix濃縮至18.8°Brix時，透流液中的水溶性固形物的含量始終維持在0.1°Brix以下。不同的逆滲透薄膜、操作溫度及壓力，對番茄汁可溶性固物的回收率均大於98.5%。Merlo[6,7]等人以類似之聚醯氨薄膜(ZF-99)濃縮番茄汁之可溶性固形物回收率亦大於98%。可見HR-95與HR-98此二者薄膜具有相當高的溶質滯留率。

表二爲不同逆滲透濃縮條件對離心番茄果清可滴定酸回收率之影響。果清濃縮前之可滴定酸濃度約爲0.32%。逆滲透濃縮後滯留液所含之可滴定酸度約爲1.25%。在不同操作溫度下，25℃逆滲透濃縮之透流液中可滴定酸的含量較50℃稍少。HR-98的薄膜在25℃操作下，透流液之可滴定酸含量爲0.0037%，回收率爲99.2%，而50℃之操作下可滴定酸的含量則爲0.0074 % 回收率爲98.3%。這顯示在

表一、不同逆滲透濃縮條件對離心番茄果清水溶性固形物回收率之影響
Table 1. Effect of reverse osmosis on the soluble solids recovery of tomato serum obtained from centrifugation.

Treatment			Brix			Recovery (%)
			Serum	Retentate	Permeate	
HR98	25℃	40bar	5.0	18.8	<0.1	>98.5
HR98	25℃	50bar	5.0	18.8	<0.1	>98.5
HR98	50℃	40bar	5.0	18.8	<0.1	>98.5
HR98	50℃	50bar	5.0	18.8	<0.1	>98.5
HR95	25℃	40bar	5.0	18.8	<0.1	>98.5
HR95	25℃	50bar	5.0	18.8	<0.1	>98.5
HR95	50℃	40bar	5.0	18.8	<0.1	>98.5
HR95	50℃	50bar	5.0	18.8	<0.1	>98.5

50℃操作下可滴定酸較易流失。在不同薄膜比較上，在低溫時 HR-98 的可滴定酸回收率較HR-95 高，高溫時兩者之間的差異則較小。由以上實驗之結論，HR-98 與 HR-95 薄膜對溶質之滯留率均很高，極適合番茄果清的濃縮。

離心番茄果清所含之單醣經HPLC分析得知主要為果糖及葡萄糖(表三)，其中以果糖的含量較葡萄糖多，比值約為1.2。果汁經逆滲透濃縮後果糖及葡萄糖含量亦相對的提高。分析透流液中醣類，發現在25℃操作條件下時果糖與葡萄糖的含量較在50℃的操作下低。

離心番茄果清所含之有機酸以檸檬酸為主，約為0.244%。果清濃縮後含量增至0.945%。其他有機酸含量如表四所示：草酸、蘋果酸含量均隨濃縮而增加。在透流液中，只檢測出草酸，其他有機酸均檢測不出。HR-98在薄膜在25℃、40bar操作下透流液中的草酸含量為0.005%，在50℃、40bar下為0.015%，草酸在50℃操作下的流失率為25℃之三倍。在25℃的操作下，HR-95所得透流液之草酸含量約為HR-98的二倍。

表二、不同逆滲透濃縮條件對離心番茄果清可滴定酸回收率之影響

Table 2. Effect of reverse osmosis on the titratable acidity recovery of tomato serum obtained from centrifugation.

Treatment			Titratable acidity (%)			Recovery (%)
			Serum	Retentate	Permeate	
HR98	25℃	40bar	0. 322	1. 25	0. 0037	99. 2
HR98	25℃	50bar	0. 324	1. 25	0. 0037	99. 2
HR98	50℃	40bar	0. 325	1. 26	0. 0074	98. 3
HR98	50℃	50bar	0. 322	1. 27	0. 0074	98. 3
HR95	25℃	40bar	0. 318	1. 26	0. 0050	98. 8
HR95	25℃	50bar	0. 322	1. 26	0. 0050	98. 8
HR95	50℃	40bar	0. 315	1. 26	0. 0074	98. 3
HR95	50℃	50bar	0. 327	1. 23	0. 0074	98. 3

表三、不同逆滲透條件濃縮離心番茄果清之進料、滯留液與透流液之糖類含量

Table 3. Sugar contents of feed juice, retentate, and permeate obtained from reverse osmosis concentration of tomato serum.

Treatment			Feed juice		Retentate		permeate	
			Glucose (%)	Frutose (%)	Glucose (%)	Frutose (%)	Glucose (%)	Frutose (%)
HR98	25℃	40bar	1. 45	1. 75	5. 32	6. 01	0. 01	0. 01
HR98	25℃	50bar	1. 47	1. 77	5. 35	6. 02	0. 01	0. 02
HR98	50℃	40bar	1. 46	1. 77	5. 21	5. 74	0. 02	0. 02
HR98	50℃	50bar	1. 48	1. 78	5. 28	5. 82	0. 02	0. 02
HR95	25℃	40bar	1. 51	1. 81	5. 44	5. 91	0. 01	0. 02
HR95	25℃	50bar	1. 43	1. 74	5. 38	5. 74	0. 01	0. 02
HR95	50℃	40bar	1. 49	1. 83	5. 41	5. 44	0. 02	0. 03
HR95	50℃	50bar	1. 45	1. 77	5. 42	5. 39	0. 02	0. 02

表四、不同逆滲透條件濃縮離心番茄果清-之進料、滯留液與透流液之有機酸含量

Table 4. Organic acid contents of feed juice, retentate, and permeate obtained from reverse osmosis concentration of tomato serum.

Reverse osmosis treated sample	Oxalic acid (%)	Galacturonic acid (%)	Citric acid (%)	Malic acid (%)
Feed juice				
HR98 25℃ 40bar	0. 027	0. 030	0. 262	0. 052
HR98 25℃ 50bar	0. 024	0. 025	0. 255	0. 048
HR98 50℃ 40bar	0. 025	0. 026	0. 243	0. 051
HR98 50℃ 50bar	0. 028	0. 028	0. 271	0. 058
HR95 25℃ 40bar	0. 023	0. 021	0. 225	0. 045
HR95 25℃ 50bar	0. 021	0. 020	0. 214	0. 041
HR95 50℃ 40bar	0. 026	0. 021	0. 227	0. 057
HR95 50℃ 50bar	0. 028	0. 024	0. 258	0. 054
Retentate				
HR98 25℃ 40bar	0. 069	0. 085	0. 974	0. 185
HR98 25℃ 50bar	0. 067	0. 075	0. 945	0. 177
HR98 50℃ 40bar	0. 051	0. 074	0. 941	0. 174
HR98 50℃ 50bar	0. 054	0. 071	0. 971	0. 183
HR95 25℃ 40bar	0. 045	0. 067	0. 938	0. 168
HR95 25℃ 50bar	0. 043	0. 071	0. 921	0. 156
HR95 50℃ 40bar	0. 040	0. 065	0. 910	0. 174
HR95 50℃ 50bar	0. 042	0. 073	0. 941	0. 176
Permeate				
HR98 25℃ 40bar	0. 005	N D	N D	N D
HR98 25℃ 50bar	0. 006	N D	N D	N D
HR98 50℃ 40bar	0. 015	N D	N D	N D
HR98 50℃ 50bar	0. 014	N D	N D	N D
HR95 25℃ 40bar	0. 011	N D	N D	N D
HR95 25℃ 50bar	0. 013	N D	N D	N D
HR95 50℃ 40bar	0. 017	N D	N D	N D
HR95 50℃ 50bar	0. 014	N D	N D	N D

N.D.：Not detected

六、逆滲透濃縮對番茄汁黏稠度之影響

濃縮番茄汁經加水還原成原始濃度後，黏度會往往會有下降的現象[3,10]。表五與表六可看出番茄汁直接逆滲透濃縮法與離心果清濃縮法濃縮前後黏度之比較。熱破碎後之番茄汁黏度爲288cps，經殺菌後降爲272cps(表六)。以果清濃縮法的還原之番茄汁黏度平均爲215cps(表六)。天然番茄汁以HR-95薄膜在50℃或70℃濃縮再還原，其果汁黏度則只有128、135cps(表五)。果清濃縮法的濃縮果清回添果肉後，可溶性固形物爲14.8°Brix。黏稠度經Bostwick viscometer測出平均爲2.8cm，而果汁直接濃縮之番茄糊可溶性固形物爲13°Brix。黏稠度爲4.8、5.0cm (Bostwick viscometer所測之cm數愈高表示黏稠度愈低)。由以上結果得知，果清濃縮法所製得之還原番茄汁黏稠度較高。不同逆滲透條件對還原番茄汁的黏稠度差別影響不大。

番茄汁直接濃縮法所導致黏稠度下降的原因可能是由於某些大分子，例如果膠、纖維素、蛋白質等逐漸失水而改變了立體構造。當加水稀釋回原濃度時，並無法使其完全復水到原來的吸水程度而造成黏度之下降。果清濃縮法則因不溶性固形物先行分離，所以不受濃縮而改變立體構造，復水較完全，因而具有較高的黏稠度。去果膠番茄汁進料的黏度較低爲140cps，濃縮還原後黏度降低至104cps(表五)。去果膠番茄汁可直接濃縮至15.5°Brix，在50℃與70℃之黏稠度爲分別爲Bostwick 3.8cm與4.0cm。稀釋成13°Brix時黏稠度爲6cm，與天然番茄汁直接濃縮，去果膠之濃縮番茄汁的黏稠度較低。

表五、以HR-95 薄膜濃縮番茄汁及去果膠番茄汁，其原汁、濃縮汁與其還原汁之黏稠度比較

Table 5. Effect of reverse osmosis on the viscosity of retentate and reconstituted juice as compared to feed tomato juice.

Treatment	Feed juice		Retentate		Reconstituted juice
	Brix	CPS*	Brix	cm**	CPS*
E 50℃ 40bar	5.0	140	13.0	6.0	104
E 70℃ 40bar	5.0	140	13.0	6.2	101
T 50℃ 40bar	5.0	268	13.0	4.8	128
T 70℃ 40bar	5.0	274	13.0	5.0	135
E 50℃ 40bar	5.0	140	15.5	3.8	
E 70℃ 40bar	5.0	140	15.5	4.0	

E：Depectinized tomato juice
T：Tomato juice
* Viscosity measured by Brookfield viscometer.
** Viscosity measured by Bostwick viscometer.

表六、離心番茄果清以不同逆滲透條件濃縮成之番茄糊與還原番茄果汁之黏稠度比較

Table 6. Viscosities of reverse osmosis concentrated tomato pastes and reconstituted tomato juices.

Treatment	Reconstituted tomato juice		Reconstituted tomato paste	
	Brix	CPS*	Brix	cm**
HBTJ	5.0	288		
PTJ	5.0	272		
HR98 25℃ 40bar	5.0	226	14.8	2.8
HR98 25℃ 50bar	5.0	215	14.8	2.8
HR98 50℃ 40bar	5.0	210	14.8	3.0
HR98 50℃ 50bar	5.0	205	14.8	2.6
HR95 25℃ 40bar	5.0	220	14.8	2.7
HR95 25℃ 50bar	5.0	220	14.8	2.7
HR95 50℃ 40bar	5.0	205	14.8	3.0
HR95 50℃ 50bar	5.0	225	14.8	2.8
RCTJ	5.0	227		

HBTJ：Hot break tomato juice PTJ：Pasteurized tomato juice
RCTJ：Reconstituted juice form centrifuged juice
* Viscosity measured by Brookfield viscometer.
** Viscosity measured by Bostwick viscometer.

將離心出之果肉直接回添入果清，攪拌混勻後測其黏稠度，發現其黏稠度也有下降的趨勢，約爲227cps，與果清濃縮法之還原汁的黏稠度相近。Mannheim與Kopelman(4)認爲果清濃縮法由於離心時增加了機械處理，導致細胞破裂和番茄汁固體分散結構改變，而使得黏度降低。逆滲透濃縮果清不論任何處理，其黏稠度的變化均相似。因此果清濃縮法黏稠度的下降並非受了逆滲透濃縮操作的因素，而是經離心處理後，番茄汁固體分散結構改變，造成番茄汁黏稠度降低。

七、逆滲透濃縮對番茄汁色澤之影響

色澤爲決定番茄汁品質之重要因子。以逆滲透方法直接濃縮天然番茄汁，其L、a、b值均升高，然而還原成原汁之濃度後，L與a值均下降，b值上升，a/b值則下降，Lycopene含量也下降(表七)。

表八爲離心番茄果清經逆滲透濃縮後，回添果肉並稀釋還原成原濃度之番茄汁與熱破碎後及殺菌後天然番茄汁之色澤比較。濃縮果清經回添果肉後之濃縮番茄汁，其可溶性固形物由18.8°Brix降爲14.8°Brix。濃縮番茄汁進一步還原成5°Brix天然番茄汁的濃度後，L值稍爲下降，a值變化不大，b值稍升，a/b值稍降，Lycopene含量也略爲下降。不同逆滲透操作條件對色澤的影響不大。

與表七相比較，離心果清逆滲透濃縮法可得到較佳之色澤，此乃因番茄的紅色色素大多爲脂溶性，果汁高速離心時，色素大都留在果肉部分，類胡蘿蔔素與茄紅素(Lycopene)被破壞程度較小所致。

表七、以HR-95 薄膜濃縮番茄汁及果膠酵素處理之番茄汁其濃縮汁、還原汁、原汁之色澤比較

Table 7. changes of juice color on the concentration of tomato juice and depectinized tomato juice using HR-95 membrane.

Reverse osmosis treated sample	Brix	Color				
		L	a	b	a/b	Lycopene (mg/100g)
A. Tomato juice (50℃, 40bar)						
Feed juice	5.0	27.8	26.5	14.8	1.79	7.65
Reconstituted juice.	5.0	24.4	25.6	16.2	1.58	6.81
Retentate	13.0	28.6	30.4	17.8	1.71	
B. Tomato juice (70℃, 40bar)						
Feed juice	5.0	27.8	26.5	14.8	1.79	7.60
Reconstituted juice	5.0	24.2	24.7	16.2	1.52	6.52
Retentate	13.0	28.6	30.4	18.0	1.68	
C. Depectinized tomato juice (50℃, 40bar)						
Feed juice	5.0	24.2	25.6	15.0	1.70	6.54
Reconstituted juice	5.0	23.3	24.6	16.8	1.46	6.05
Retentate	15.5	27.5	29.5	17.9	1.64	
C. Depectinized tomato juice (70℃, 40bar)						
Feed juice	5.0	24.2	25.6	15.0	1.70	6.54
Reconstituted juice	5.0	23.3	24.2	16.8	1.44	5.85
Retentate	15.5	27.2	29.5	17.9	1.64	

結　　論

番茄汁經果膠酵素處理後，果膠含量降低，黏稠度降低。以酵素處理汁進行逆滲透濃縮，其透流速率較原汁高濃縮倍數也較高。直接濃縮含果肉之番茄汁，因未將果肉先行去除，易造成膜堵塞影響透流率，且縮短薄膜使用壽命。

番茄汁經超過濾處理，只得到59%的透流液(番茄果清)。將果清經逆滲透濃縮，可得到22°Brix的濃縮果清，回添於超過濾的滯留液中，最終得到9.2 °Brix的濃縮番茄汁。

將番茄汁經離心處理後，將果清進行逆滲透濃縮，可濃縮至18.8 °Brix 回添果肉後可溶性固形物爲14.8 °Brix 逆滲透操作溫度愈高，透流速率愈大，40bar與50bar的操作壓力對透流速率影響差別不大。薄膜經清洗後，透流率能回復到水校正曲線之值相當。因此以DDS裝置濃縮番茄汁，適合採用經離心處理濃縮果清之方式。

不同薄膜的滯留率(Retention)比較：對可溶性固形物回收率的影響，HR-95與HR-98二者薄膜差別不大。操作溫度對滯留率的影響大於操作壓力。溫度愈高，可滴定酸的回收率愈低，70℃操作溫度降低薄膜滯留率的程度最爲明顯。

番茄汁經逆滲透濃縮後，還原成與原濃度相同的果汁，其黏稠度會下降；不同進料的逆滲透濃縮番茄汁，經稀釋還原成5.0°Brix後其黏稠度比較，以離心果清濃縮法，所得之黏稠度最高。

還原番茄汁顏色的比較：果清濃縮法顏色的變化主要來自於非酵素性褐變，直接含果肉果汁濃縮法則受非酵素性褐變和色素裂解的影響，因此果清濃縮法能保有良好的紅色度：a 値及a/b値，茄紅素Lycopene的含量也較高。

誌　　謝

本研究承蒙行政院農業委員會經費補助[83科技-2.8-糧-08(7)]，可果美食品工業股份有限公司慨贈實驗材料與技術上之協助，在此一併誌謝。

參考文獻

1. FDA 1984. Food and Drug Admin. Fed. Reg. 49:49448. p.121.
2. Gherardi, S., Bazzarini, R., and Trifiro, A. 1986. Pre-concentration of tom ato juice by reverse osmosis. P.C.I. Industria Conserve 61(2):115.
3. Lee, Y.I., Chang, C.M., and Wu, J.S. 1984. Consistency changes of tomato juice in concentration processes. Food Science 13:163.
4. Mannheim, H.C. and Kopelman, J. 1964. Evaluation of two methods of tomato juice concentration - Product comparisons. Food Technol. 18:117.
5. Matsuura, T., Baxter, A.G., and Sourirajan, S. 1974. Studies on reverse osmosis for concentration of fruit juice. J. Food Sci. 39:704.
6. Merlo, C. A., Rose, W. W., Pedersen, L. D., and White, E. M. 1986a. Hyperfiltration of tomato juice during long term high temperature testing. J. Food Sci. 51:395.
7. Merlo, C.A., Rose, W.W. Pedersen, L.D., White, E.M, and Nicholson, J.A. 1986b. Hyperfiltration of tomato juice: pilot plant scale high temperature testing. J. Food Sci. 51(2):403.
8. Sheu, M.J. and Wiley, R.C. 1983. Preconcentration of apple juice by reverse osmosis. J. Food Sci. 48(2): 422.
9. Sheu, M. J. and Wiley, R. C. 1984. Influence of reverse osmosis on sugar retention in apple juice

concentration. J. Food Sci. 49:304.
10.Tanglertpaibul, T. and Rao, M.A. 1987. Rheological properties of tomato concentrates as affected by size and methods of concentration. J. Food Sci. 52:141.

Concentration of Tomato Juice Using Reverse Osmosis

Yin-Ni Tso[1], Ming-Jen Sheu[1] and James Swi-Bea Wu[2]
1 Graduate Institute of Horticulture, National Taiwan University
2 Graduate Institute of Food Science and Technology, National Taiwan University

Abstract

Tomato juice and depectinzed tomato juice (5 °Brix) were able to concentrated to 13.0 °Brix and 15.5 °Brix, respectively, by reverse osmosis (RO) using HR-95 membranes, at 50℃ and 40bar, however, severe fouling were also observed. If tomato juices were centrifuged at 13200xg first, the serums can be concentrated up to 18.8 °Brix using either HR-95 or HR-98 membranes, at 25℃ or 50℃, and 40bar or 50 bar. Average recoveries of 98.5% of soluble solids can be obtained in the RO concentrations of tomato serum. The viscosity, a value, a/b ratio, and lycopene content were only slightly lower than the fresh tomato juice.

Key words: tomato juice, reverse osmosis, juice concentration